



Experimental investigation of the effects of nanofluid use in engine coolant on heat conduction and emissions at different engine speeds

Tahsin Yüksel^{1*}, Abdulkadir İzgi²

¹Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Türkiye

²SEGULA Technologies Turkey Engineering Company., 16110, Bursa, Türkiye

Highlights:

- The effect of different nanofluids on engine cooling at different engine speeds
- The effect of nanofluids in different ratios on cooling at different engine speeds
- The effect of using nanofluids in the cooling system at different engine speeds on engine emissions

Keywords:

- Internal combustion engine
- Nanofluid
- Cooling system
- Engine speed
- Emission

Article Info:

Research Article

Received: 29.04.2022

Accepted: 24.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1110798

Correspondence:

Author: Tahsin Yüksel

e-mail:

tyuksel@cumhuriyet.edu.tr

phone: +90 505 491 5300

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the effects of the use of different nanofluids (NFs) at different rates in the cooling system of the engine operated at 1000, 2000, 3000, and 4000 rpm on heat conduction and engine emissions were investigated. It was observed that the heat conduction of NFs other than SiO₂ deteriorated gradually with the increase in temperature when the engine speed increased, compared to the base fluid. At the same time, the increase in the NF ratio affected the heat conduction positively. In the simultaneous measurements of CO₂, HC, CO, and O₂ emissions were observed no significant differences compared to the base fluid. It has been observed that there are approximately 28%, 27%, 25%, and 15% reductions in NO_x emissions.

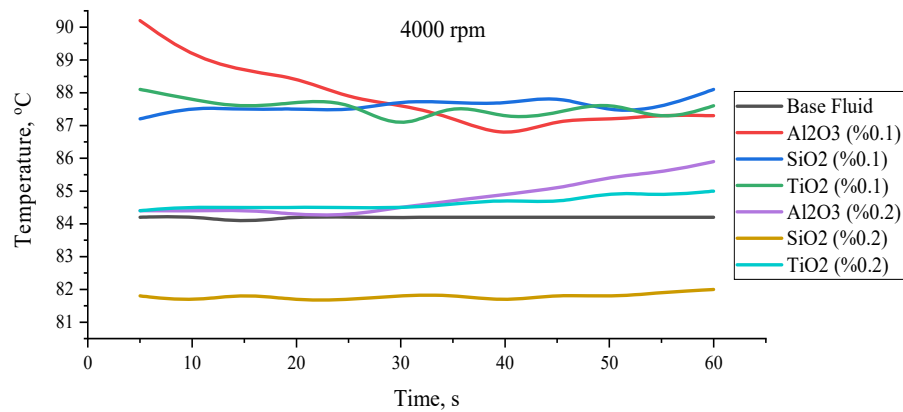


Figure A. Comparison of the engine outlet temperatures of coolants at 4000 rpm

Purpose: In this study, it is aimed to investigate the effects of the use of 0.1% and 0.2% NF in the cooling system of a vehicle engine operated at different engine speeds on cooling and emissions.

Theory and Methods: A four-cylinder turbo diesel engine on a vehicle was used in the experiments. A mixture of 50-50% ethylene glycol and water was preferred as the base fluid. SiO₂, TiO₂, and Al₂O₃ NFs were mixed into the base fluid at a ratio of 0.1% and 0.2%, respectively. Experimental studies were carried out to observe the effects of NFs in the cooling system of temperature changes at 1000, 2000, 3000, and 4000 rpm engine speeds. At the same time, changes in CO₂, HC, CO, NO_x, and O₂ engine emission values were observed.

Results: It has been shown that NFs have a positive effect compared to the base fluid at low engine speeds, but the temperature increases in the cooling system at higher engine speeds worsen the temperature conduction of NFs compared to the base fluid. Increasing the NF ratio in the base fluid to 0.2% has contributed positively to heat conduction. At this stage, it has been observed that the number of particles and particle size in the coolant fluid are effective. In the simultaneous emission measurements, very close differences were detected. It has been determined that there is a decrease in NO_x emission in all NF types compared to the base fluid.

Conclusion: The increase in coolant fluid temperature in parallel with the increase in engine speed showed that NFs did not have a positive effect on heat conduction. Only 0.2% SiO₂ NF showed a positive effect at all engine speeds and temperatures. It was determined that there was a 28% decrease in NO_x emission at 1000 rpm.



Motor soğutma sıvısında nanoakışkan kullanımının farklı motor devirlerinde ısı iletimi ve emisyonlara etkilerinin deneysel incelenmesi

Tahsin Yüksel^{1*}, Abdulkadir İzgi²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

²SEGULA Technologies Turkey Mühendislik A.Ş., 16110, Bursa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Farklı motor devirlerinde farklı nanoakışkanların motor soğutmasına etkisi
- Farklı motor devirlerinde farklı oranlardaki nanoakışkanların soğutmaya etkisi
- Farklı motor devirlerinde soğutma sisteminde nanoakışkan kullanımının motor emisyonlarına etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 29.04.2022

Kabul: 24.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1110798

Anahtar Kelimeler:

İçten yanmalı motor,
nanoakışkan,
soğutma sistemi,
motor devri,
emisyon

ÖZ

Sıvı soğutucu akışkanı içerisine nano boyuttaki metal partiküller karıştırılarak motor içerisindeki ısı iletimini arttırmak mümkündür. Bu çalışmada da bir taşıtın motor soğutma sistemindeki baz soğutucu akışkan içerisine %0,1 ve %0,2 oranlarında SiO₂, TiO₂, Al₂O₃ nanoakışkanları ilave edilerek 1000, 2000, 3000 ve 4000 dev/dk çalıştırılan motorun soğutma sistemindeki sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Ayrıca bu devirlerdeki CO₂, HC, CO, NO_x ve O₂ egzoz emisyonlarındaki değişimler de incelenmiştir. Baz akışkana eklenen nanoakışkanların oranları arttıkça ısı iletiminin arttığı, ancak 3000 ve 4000 dev/dk ısı iletiminin düştüğü gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklık değerleri için çalışılan tüm nanoakışkan karışımlarında görülen olumlu ısı iletim etkisi, motordaki devir artışıyla birlikte soğutucu sıcaklık değerlerinin yükselmesi durumunda görülmemiştir. Dolayısı ile nanoakışkan karışımlarının her koşulda ısı iletimini iyileştirmediği belirlenmiştir. Partikül oranındaki artış ile motor soğutma sıvısının daha düşük sıcaklık değerlerinde kalmasına olanak sağlanarak ısı iletiminde iyileşme olduğu görülmüştür. CO₂, HC, CO ve O₂ emisyonları için baz akışkana kıyasla egzoz emisyon değerlerinde belirgin farklılıklar oluşmamıştır. NO_x emisyon değerlerinde ise farklı motor devirleri için sırası ile yaklaşık %28, %27, %25 ve %21 oranında düşüşler olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ve emisyon ölçümlerinde genelde en iyi sonuçlar %0,2 SiO₂ nanoakışkanında elde edilmiştir.

Experimental investigation of the effects of nanofluid use in engine coolant on heat conduction and emissions at different engine speeds

HIGHLIGHTS

- The effect of different nanofluids on engine cooling at different engine speeds
- The effect of nanofluids in different ratios on cooling at different engine speeds
- The effect of using nanofluids in the cooling system at different engine speeds on engine emissions

Article Info

Research Article

Received: 29.04.2022

Accepted: 24.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1110798

Keywords:

Internal combustion engine,
nanofluid, cooling system,
engine speed,
emission

ABSTRACT

It is possible to increase the heat conduction in the engine by mixing nano-sized metal particles into the liquid coolant. In this study, the temperature changes in the cooling system of the engine operated at 1000, 2000, 3000, and 4000 rpm were investigated by adding 0.1% and 0.2% SiO₂, TiO₂, Al₂O₃ nanofluids to the base coolant in the engine cooling system of a vehicle. In addition, the changes in CO₂, HC, CO, NO_x, and O₂ exhaust emissions at these speeds were also investigated. It was observed that the heat conduction increased as the ratio of nanofluids added to the base fluid increased, but the heat conduction decreased at 3000 and 4000 rpm. The positive heat conduction effect seen in all nanofluid mixtures studied for low-temperature values was not observed when the coolant temperature values increased with the increase in engine speed. Therefore, it was determined that nanofluid mixtures did not improve heat conduction under all conditions. With the increase in the particle ratio, it has been observed that the engine coolant remained at lower temperature values, resulting in an improvement in heat conduction. For CO₂, HC, CO, and O₂ emissions, there were no significant differences in the exhaust emission values compared to the base fluid. It has been determined that there are decreases of approximately 28%, 27%, 25%, and 21%, respectively, in NO_x emission values for different engine speeds. In general, the best results in temperature and emission measurements were obtained with 0.2% SiO₂ nanofluid.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *tyuksel@cumhuriyet.edu.tr, izgiabdulkadir001@gmail.com /
Tel: +90 505 491 5300

1. Giriş (Introduction)

Dünya üzerinde taşıt sayısındaki artış, fosil kökenli yakıt tüketimini olumsuz yönde etkileyen önemli bir sorundur. Fosil kökenli yakıtların yakılması ile çevreye yayılan zararlı emisyonlar da insan sağlığını olumsuz etkileyen bir diğer önemli çevre sorunudur. Dolayısı ile mevcut olumsuzlukları en aza indirmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelmenin yanı sıra taşıt motorlarında yakıt tüketimini düşürme üzerine yapılan çalışmalar önemli bir yere sahiptir. Bu aşamada yakıt tüketimini düşürmek ve tasarruf sağlamak için taşıt motorlarının ve taşıt boyutlarının küçültülmesi bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Daha etkili ısı transferi sağlanan daha küçük boyutlu soğutma sistemi kullanılarak bu durumun mümkün olabileceği öngörülmektedir. Küçültülen soğutma sistemi sayesinde daha az ağırlık, beraberinde daha az enerji tüketimi ve daha az zararlı emisyon salınımları imkânı vermektedir. Bu değerlendirmelerden yola çıkılarak, motor soğutma sisteminde nanoakışkan (NA) kullanımı üzerine çalışmalar önemli yer tutmaktadır. Sıvı haldeki soğutucu içerisine metal kökenli nanopartiküller karıştırılarak daha yüksek miktarda ısı transferi sağlanması amaçlanmaktadır. Katıların sıvılara göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olması prensibinden yola çıkılarak nano boyuttaki malzemeler, sıvı içerisine karıştırılarak baz soğutucu akışkanın daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olması sağlanmaktadır.

Soğutma sistemi, içten yanmalı motor içerisinde meydana gelen ısının, transfer akışkanı aracılığıyla radyatör üzerinden dış ortama atılması şeklinde çalışan kapalı bir sistemdir. Motor içerisinde oluşan yüksek ısının bir kısmı, motor parçalarına zarar vermemesi için soğutma sistemi aracılığıyla motordan uzaklaştırılmaktadır. Bu görevi yerine getiren parçalardan biri olan radyatöre önemli görevler düşmektedir. Günümüz taşıt motorlarında etkili bir soğutma yapmak için radyatörün boyutlarının büyük olması arzu edilmemektedir. Dolayısı ile daha etkili bir soğutma sağlamak için NA'lar kullanılarak radyatör boyutlarının küçültülmesi [1] mümkün görülmüştür. Bu sayede ağırlığın azalması ile hem araç performansında artış hem de yakıt tüketiminde düşüş [2-4] imkânı olmuştur.

Motor soğutma sistemi parçalarından olan radyatör verimini arttırmak amacı ile soğutma sıvısına nanopartikül (NP) ilavesi, radyatör başta olmak üzere motor ve elemanlarında küçülmeye gidilerek aynı verimin elde edilebilir olmasına imkân sağlayabilmektedir. Baz soğutucu akışkan (etilen glikol-su) içerisine soğutucunun ısı taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla NP'ler karıştırmak [2, 5-8] daha etkili motor soğutma sistemleri meydana getirilebilmek için araştırılmıştır. Bu araştırmalarda, soğutma sistemlerinde baz akışkan içerisine NP'ler karıştırılması sayesinde daha uygun sıcaklık değerlerinde motorların çalışabilmelerinin mümkün olabileceği düşünülmüştür. Motor içerisindeki ısının daha iyi bir şekilde transfer edilebilmesi ve daha küçük hacme sahip olması düşünülen radyatör ile diğer soğutma sistemi parçaları sayesinde daha küçük motor yapısının [3, 9-11] üretilebileceği görülmüştür.

Motor soğutma sistemlerinde NA'ların içerisinde yer alan NP'lerin kullanımı neticesinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Soğutucu akışkan olarak NA'ların kullanılması iyi bir soğutma performansı sergilemiştir [2, 12]. Birçok çalışmada Al_2O_3 partikülleri ile oluşturulan NA'ların soğutma sistemlerinde kullanılması, baz akışkana kıyasla radyatörün performansına olumlu katkı sağlamıştır [9, 13, 14]. Aynı şekilde belirli oranlarda soğutucu akışkan olarak TiO_2 partikülleri ile oluşturulan NA'ların kullanılması da iyi bir soğutma performansı sergilemiştir [15-17]. Ayrıca otomobil radyatörleri içerisinde TiO_2 [10, 18-20], Al_2O_3 [4, 9, 20], SiO_2 [3, 20, 21], MWCNT [11, 22, 23], SiC [21, 24], $Al_2O_3-Co_3O_4$ [25], $Al_2O_3-TiO_2$ [26-28], Al_2O_3-CuO [2, 21, 29] gibi çeşitli NP'lerin kullanılması ile oluşturulan NA'larla yapılmış olan birçok çalışmada farklı karışım miktarlarında NP'lerin kullanımı ile ısı transferinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1'de soğutucu olarak kullanılan akışkanların ve içerisine hacimsel olarak karıştırılan NP artış oranının ısı iletkenliğe etkisi görülmektedir. Aynı zamanda NP'lerinin baz akışkan içerisindeki artışının sıcaklıkla ısı iletkenlikteki meydana gelen değişimi de tabloda görülmektedir.

Isı transfer akışkanı içerisine karıştırılan NP'lerin konsantrasyon oranı da ısı transferini etkilemektedir. EG-su içerisine farklı hacimsel

Tablo 1. NP'lerin soğutucu akışkan içerisindeki artış oranının ısı iletkenliğe etkisi
(The effect of the increase rate of NPs in the refrigerant fluid on the thermal conductivity)

Soğutucu akışkan	(%)	Isı iletkenlik (W/mK)			Kaynaklar
Baz akışkan (%50-%50)	--	0,3736			[22]
Su	--	0,609			[30]
	0,05	0,668			
Baz akışkan - Al_2O_3	0,15	0,874			[2]
	0,3	1,287			
	0,05	0,664			
Baz akışkan - CuO	0,15	0,858			[2]
	0,3	1,241			
	0,1	0,728			
Su - TiO_2	0,2	0,737			[18]
	0,3	0,751			
	0,10	1,3313			
Baz akışkan- MWCNT	0,25	1,9926			[22]
	0,50	3,9667			
		30°C	40°C	50°C	
	0,1	0,483	0,51	0,525	
	0,2	0,505	0,533	0,556	
Baz akışkan - GnP	0,3	0,525	0,543	0,572	[30]
	0,4	0,534	0,566	0,591	
	0,5	0,557	0,591	0,615	

konsantrasyonlarda NP'lerin eklenmesi ile yapılmış olan çalışmalarda; NP'lerin hacimsel konsantrasyonu arttıkça nano sıvıların yoğunluğu artarken, sıcaklık artışı ile azalmasının [21] yanı sıra ısı transfer akışkanı içerisinde radyatörün ısı transfer performansı NP konsantrasyonundaki artışla birlikte önemli ölçüde arttığı da [17, 19, 20] belirlenmiştir.

Soğutma sisteminin ve radyatör boyutlarının küçülmesi sayesinde; radyatör içerisinde kullanılan soğutucu akışkan miktarının azalması, sistem ve motorun diğer parçalarına daha fazla yer ayrılması imkânı, daha hafif soğutma sistemi, malzeme ömürlerinde olabilecek artışlar, aracın aerodinamik yapısında meydana gelebilecek iyileşme sayesinde hava direncinin azalması ile yakıt tasarrufu ve daha düşük emisyon değerleri elde edilebilmesi söz konusu olabilir. Aynı zamanda daha küçük soğutma sistemi sayesinde motorun daha kısa sürede verimli çalışma sıcaklığına ulaşması gibi olumlu özellikler, NA kullanımı ile elde edilmek istenirken, aynı zamanda gerçek çalışma koşulları altında motor devrinin de etkisi ihmal edilmemesi gerekmektedir. Çünkü motordaki devir artışı soğutma sistemi sıcaklığının da yükselmesi anlamını taşımaktadır.

İçten yanmalı motorun çalışma koşulları sürekli değişiklik göstermektedir. Motor, sürekli aynı devirde ve çalışma sıcaklığında olma imkânına sahip değildir. Taşıtın, yol ve yük şartlarını karşılayabilecek kullanım şekli motor devrinin değişimi ile sağlanabilmektedir. Dolayısı ile çalışma şartları sürekli değişim gösteren bir motorun soğutma sisteminde NA olmasının değişik motor devirlerinde gösterebileceği etkinin görülmesi gereklidir. Yapılan literatür incelemelerinde NA'ların farklı motor devirlerindeki etkisi üzerine herhangi bir araştırmaya ulaşılamamıştır. Aynı zamanda emisyon değerlerindeki değişimleri belirten bilgilere de ulaşmak mümkün olmamıştır. Bunun yanı sıra genelde laboratuvar ortamlarında sabit sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiş olan ve genelde olumlu sonuçların elde edilmiş olduğu tespitlerin, gerçek çalışma koşulları altında çalışması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu sayede gerçek çalışma koşulları altındaki soğutma sisteminin etkisi ve emisyon değerleri belirlenerek kullanılabilirliği tespit edilebilecektir. Yapılan çalışma ile bu konuda görülen eksikliklerin ve soruların çözüme kavuşturulması hedeflenmektedir. Motor soğutma sistemindeki baz akışkan içerisine karıştırılan

NP'lerin soğutma sistemindeki etkisi, araç motorunun soğutma sisteminde ve farklı motor çalışma devirlerinde çalıştırılması neticesinde incelenmiştir. Dolayısı ile literatürde bir eksiklik olarak görülen, baz akışkana karıştırılan NP'lerin farklı motor devirlerindeki kullanım etkisinin incelendiği deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda soğutma sisteminde farklı NP içeren NA çeşitlerinin kullanıldığı ve her bir akışkan için farklı devirlerde çalıştırılan motordaki egzoz emisyonlarına olan etkilerinin de görülmesi imkânı sağlanacaktır. Bu hususta literatürde yer verilmemiş olan bir eksikliğe de cevap verilmiş olunacaktır.

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. Deneysel Taşıtı (Test Vehicle)

NP karışımları kullanılarak yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde sadece soğutma sisteminin bir elemanı olan radyatör kullanılarak belirli sıcaklık değerlerindeki veriler elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın diğer çalışmalardan farklı olarak bir taşıt ve üzerinde yer alan motorunun soğutma sistemi bir bütün olarak ele alınmış ve farklı motor devirlerindeki sıcaklık değerlerinin tespitiyle eş zamanlı egzoz emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan turbo dizel motora sahip olan taşıtın bazı özellikleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Taşıt motorunun soğutma sisteminde kullanılan baz akışkan olarak %50 etilen glikol (EG) ve %50 su oranları tercih edilmiştir. Bu sayede genel iklim koşulları düşünülerek baz akışkanın donma ve kaynama noktaları -34°C ile 107°C [30] aralığında olması sağlanmıştır. Belirtilen oranlarda hazırlanmış olan baz akışkan Şekil 1'de görülen taşıtın soğutma sistemine doldurularak çalışmalar yapılmıştır.

2.2. Deneysel Kullanılan Nanoakışkanlar (Nanofluids Used in the Experiment)

Araştırmalarda, laboratuvar ortamında yeterince çalışılmış olduğu düşünülen SiO_2 , TiO_2 ve Al_2O_3 NP'leri ile oluşturulan NA'ları tercih edilmiştir. TiO_2 ve Al_2O_3 NP'leri için yüzey kaplama maddesi olarak Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), SiO_2 için ise herhangi bir yüzey aktif maddesi eklenmeden çökelme ve topaklanmanın önlenmesi için ultrasonik karıştırıcı kullanılarak hazırlanmış en az 100 ml'lik

Tablo 2. Deneysel taşıtın ve soğutma sisteminin özellikleri (Characteristics of the test vehicle and the cooling system)

Deneysel taşıtı		Soğutma sistemi	
Taşıt modeli	2014	Isı transfer akışkan kapasitesi	~4,5 L
Motor silindir sayısı	4	Termostat açılma sıcaklığı	~82°C
Motor hacmi	1400 cm ³	Fan çalışma sıcaklığı	~90°C
Yakıt çeşidi	Motorin	Radyatör boyutları (mm)	625 x 390 x 25



Şekil 1. Deneysel taşıtı ve motorunun görünüşü (Appearance of test vehicle and engine)

hacmindeki hazır paketlerde tedarik edilmiştir. Hacimsel olarak baz akışkana %0,1 ve %0,2 oranlarında karıştırılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de nanodispersiyonların Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında incelenmesi neticesinde elde edilmiş olan SEM görüntüleri ve teknik özellikleri görülmektedir.

2.3. Deneysel Sistemi (Experiment System)

Taşıt motoru soğutma sistemi, öncelikle baz akışkan ile doldurulup sistemin havası alınarak yapılacak çalışmalara hazırlanmıştır. Baz akışkan %50 EG-%50 su karışımı ile elde edilmiştir. Düşük sıcaklık değerlerindeki değişimlerini de görebilmek amacı ile motor üzerinde yer alan termostat çıkarılarak deneysel çalışmalara hazırlık yapılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde radyatör giriş ve çıkış bağlantı noktalarına yerleştirilen T tipi termokupullar kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri 50°C ve üzeri değerler için veri kaydedici cihazı ile 5 s aralıklarla kaydedilmiştir. Deneysel çalışmanın güvenilirliği açısından ölçümler en az üç defa tekrarlanmıştır. Motor farklı devirlerde (1000, 2000, 3000, 4000 dev/dk) çalıştırılırken soğutma sistemindeki akışkan sıcaklık değerlerinin tespiti yapılmıştır. Motor devri, her deney için en az 1 dk süresince sabit tutularak elde edilen verilerin kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçüm çalışmaları

ile eş zamanlı olarak egzoz emisyonlarının ölçümü de gerçekleştirilmiştir.

Deneysel taşıtında öncelikle baz akışkan kullanılarak farklı devirlerdeki soğutma sistemi sıcaklık değerlerinin tespiti yapılmıştır. Daha sonraki süreçlerde ise sırasıyla SiO₂, TiO₂ ve Al₂O₃ NP'leri %0,1 ve %0,2 hacimsel oranlarında baz akışkan içerisine karıştırılarak yapılan deneysel çalışmalar tekrarlanmıştır. Çalışmalar esnasında taşıtın bulunduğu ortam, havalandırma sistemi yardımıyla yaklaşık 21°C'de tutulmuştur. Kullanılan soğutucu akışkanların sıcaklık değerleri belirlenirken her soğutucu akışkan için yapılmış olan 1000, 2000, 3000 ve 4000 dev/dk'daki motor devirlerindeki ölçümler dikkate alınmıştır.


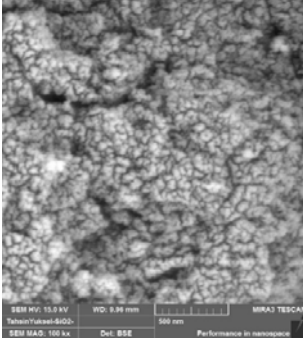

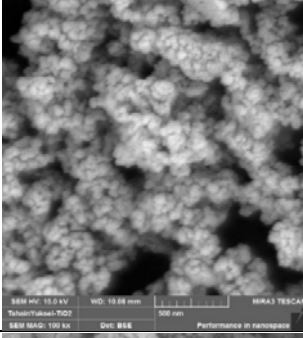

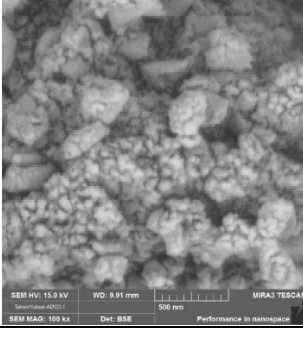
3. Deneysel Bulgular ve Tartışma (Results and Discussions)

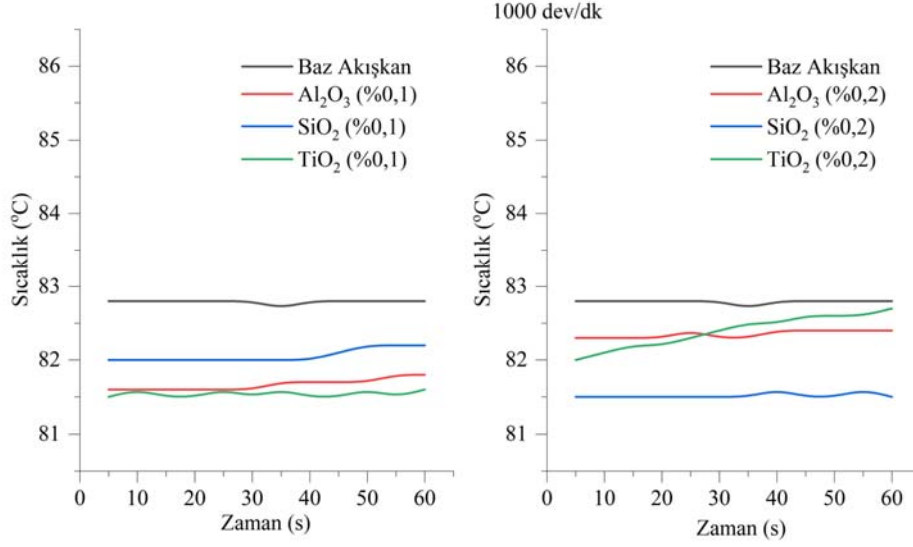
3.1. 1000 dev/dk'da Soğutma Sisteminde Ölçülen Sıcaklık Değişimleri

(Temperature Changes Measured in the Cooling System at 1000 rpm)

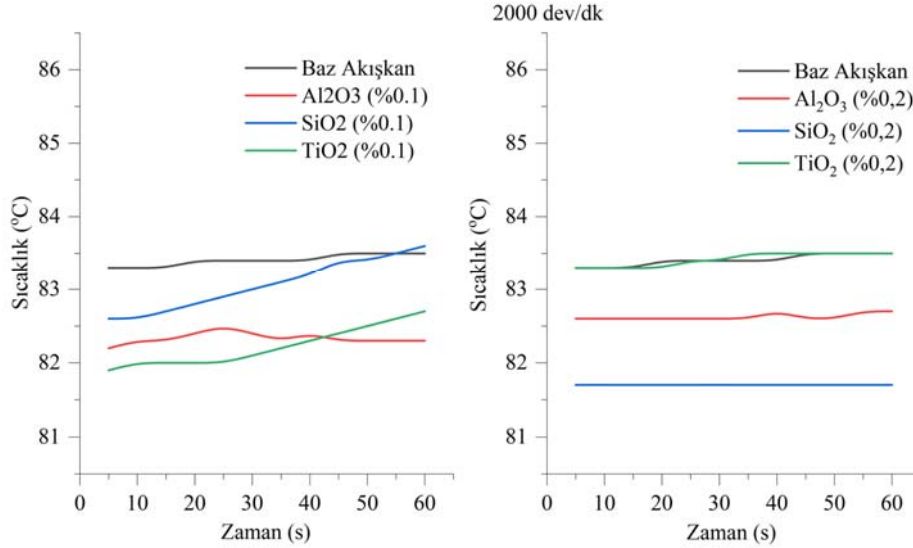
Şekil 2'de görüldüğü gibi 1000 dev/dk'da çalıştırılan motorda, baz akışkanın radyatördeki ısı iletimi, NP eklenmiş soğutucu akışkanlara göre düşük değerde kaldığı görülmektedir [35]. Bu durum hem %0,1

Tablo 3. Nanopartiküllerin SEM görüntüleri ve özellikleri (SEM images of nanoparticles and properties)

Nano dispersiyonlar ve SEM görüntüleri		Nanopartikül özellikleri	
SiO ₂			<p>Renk Beyaz</p> <p>Partikül boyutu (nm) 5-20</p> <p>Safılık (%) 99,99</p> <p>Partikül morfolojisi Neredeyse küresel</p> <p>Su içerisinde çözünürlük Çözünmez</p> <p>Yoğunluk (gr/cm³) 2,22 [3, 32]</p> <p>Isıl iletkenlik (W/mK) 1,4 [3, 32, 33]</p> <p>Özgül ısısı (J/kgK) 745 [3, 32, 33]</p>
TiO ₂			<p>Renk Beyaz</p> <p>Partikül boyutu (nm) 25-45</p> <p>Safılık (%) 99,9</p> <p>Partikül morfolojisi Neredeyse küresel</p> <p>Su içerisinde çözünürlük Çözünmez</p> <p>Yoğunluk (gr/cm³) 4,25 [15, 34]</p> <p>Isıl iletkenlik (W/mK) 8,9538 [15, 34]</p> <p>Özgül ısısı (J/kgK) 686,2 [15, 34]</p>
Al ₂ O ₃			<p>Renk Beyaz</p> <p>Partikül boyutu (nm) 28</p> <p>Safılık (%) 99,99</p> <p>Partikül morfolojisi Neredeyse küresel</p> <p>Su içerisinde çözünürlük Çözünmez</p> <p>Yoğunluk (gr/cm³) 3,97 [15, 27, 34]</p> <p>Isıl iletkenlik (W/mK) 40 [15, 27, 34]</p> <p>Özgül ısısı (J/kgK) 765 [15, 27, 34]</p>



Şekil 2. 1000 dev/dk'da soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması
(Comparison of the exit temperatures of the refrigerants from the engine at 1000 rpm)



Şekil 3. 2000 dev/dk'da soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması
(Comparison of the exit temperatures of the refrigerants from the engine at 2000 rpm)

hem de %0,2 hacimsel oranlarında NP eklenmiş olan soğutucu akışkanların ısı transfer kabiliyetlerinin baz akışkana kıyasla daha yüksek olduğu anlamını taşımaktadır. Her iki hacimsel karışım oranı için baz akışkanın ölçülen sıcaklık değeri yaklaşık 82,8°C iken, NP karışımları SiO₂ (%0,2) ve TiO₂ (%0,1) için ölçülen sıcaklık değeri yaklaşık 81,5°C olarak görülmüştür. Aradaki fark değeri yaklaşık 1,3°C olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen verilerle literatür araştırmalarından görülen sonuçlar karşılaştırıldığında, 1000 dev/dk'da çalıştırılan motorda baz akışkan içerisine karıştırılan NP'lerin ısı iletkenliği arttırdığı [2, 7-9] sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.2. 2000 dev/dk'da Soğutma Sisteminde Ölçülen Sıcaklık Değişimleri (Temperature Changes Measured in the Cooling System at 2000 rpm)

Motor devrinin 2000 dev/dk'ya yükseltilmesi neticesinde tespit edilen sıcaklık değerleri 1000 dev/dk'da çalıştırılan motordan alınan sıcaklık

değerlerine kıyasla değişimlerin olduğunu göstermektedir. 2000 dev/dk'da çalıştırılan motor için, Şekil.3'te görüldüğü gibi baz akışkanın radyatördeki ısı iletimi TiO₂ (%0,2) ile ortalama olarak aynı, diğer NP eklenmiş soğutucu akışkanlara göre aralarındaki fark ise azalmıştır [35].

Her iki hacimsel karışım oranları için baz akışkanın ölçülen sıcaklık değeri yaklaşık 83,4°C iken, NP karışımları SiO₂ (%0,2) ortalama 81,7°C ve TiO₂ (%0,1) için ölçülen sıcaklık değeri ortalama 82,2°C olarak belirlenmiştir. En iyi ısı iletim değerine sahip SiO₂ (%0,2) NP karışımı için ölçülen en büyük fark değeri yaklaşık 1,2°C olarak tespit edilmiştir. SiO₂ (%0,2) NP karışımının ısı iletimi diğer soğutucu akışkanlara kıyasla iyi olduğu görülmüştür. Tespit edilen durumun daha önce belirtildiği gibi NP karışımlarının soğutucu akışkanın ısı iletimini arttırdığı [2, 12-15] ve genel anlamda 2000 dev/dk için geçerli olduğunu göstermektedir. Motor devrinin daha da yükseltilmiş olması, 1000 dev/dk motor devrine kıyasla daha yüksek soğutma

sistemi sıcaklığına yol açmıştır. Soğutma sistemindeki sıcaklık yükselmesi, az miktarda da olsa NP karışımı akışkanın ısı iletimini kötüleştirilmiş olduğunu göstermektedir. Gerçekleşmiş olan durum neticesinde 2000 dev/dk'da en iyi ısı iletimi, baz akışkana SiO₂ (%0,2) eklenmiş NP karışımı soğutucu akışkan ile gerçekleşmiştir. Bu duruma, SiO₂ NP karışımı NA içerisindeki partikül boyutlarının etken olduğu düşünülmektedir.

3.3. 3000 dev/dk'da Soğutma Sisteminde Ölçülen Sıcaklık Değişimleri

(Temperature Changes Measured in the Cooling System at 3000 rpm)

Motor devrinin 3000 dev/dk'ya yükseltilmesi neticesinde elde edilen veriler Şekil 4'teki grafiklerde görülmektedir. Motor devirleri 1000 ve 2000 dev/dk için elde edilen verilere göre önemli değişiklikler söz konusu olmuştur. Literatürde görüldüğü üzere yapılmış olan çalışmalarda NP'lerin baz akışkanın ısı iletimini iyileştirdiği belirtilen çalışma sonuçları, motor devrinin ve beraberinde soğutucu akışkan sıcaklığının yükselmesi neticesinde etkisini yitirdiğini ve baz akışkana kıyasla kötüleştiğini göstermektedir.

%0,1 hacimsel karışım oranına sahip tüm soğutucu akışkan karışımları için, motor devrinin yükselmesi ile motor soğutma sistemindeki sıcaklık artışının kötüleşmiş olduğunu, %0,2 hacimsel karışımları için ise aynı şekilde kötüleşmesine rağmen yine de baz akışkana kıyasla ısı iletiminin TiO₂ (%0,2) NP karışımı dışındaki diğer akışkanlar için daha iyi olduğunu göstermektedir [35]. Bu durum soğutucu akışkan içerisindeki hacimsel fazlalığın etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Soğutucu akışkan içerisindeki artan karışım oranlarındaki NP'ler, baz soğutucunun ısı transferinde artışlara [2-4, 25-28] imkân sağladığını göstermektedir. Yapılan çalışma için en iyi ısı iletimine sahip olduğu tespit edilen SiO₂ (%0,2) akışkanı için ölçülen sıcaklık değeri ortalama 81,8°C ve baz akışkanın ortalama sıcaklık değeri 83,7°C'dir. Baz akışkana kıyasla aradaki ölçülen fark değeri 1,9°C'dir. Soğutucu akışkan sıcaklığı arttıkça SiO₂ (%0,2) NP'leri daha etkili bir ısı transfer performansı sergilerken bu akışkan dışındaki tüm NP karışımlarının olumsuz olarak etkilendiği görülmüştür. SiO₂ (%0,2) için partikül boyutunun ve partikül sayısının ısı iletimde önemli olduğunu [20, 21] göstermektedir. Soğutucu akışkanın sıcaklık değerinin artması ve buhar fazına olan yakınlık durumu nedeniyle NP'lerin soğutucu akışkan içerisindeki

hareketlerinde kısıtlanma durumu söz konusu olduğu düşünülmektedir. Dolayısı ile ısı iletim performansında düşüşlerin olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda baz akışkan içerisine karıştırılan NP'lerin, sıcaklık etkisi ile viskoziteyi etkilemesi şeklinde açıklanabilir. Yapılan çalışmada kullanılan NA'ların sıcaklık yükselmesi ile viskozitelerinde düşme [21] olması şeklinde kendini göstermiştir.

3.4. 4000 dev/dk'da Soğutma Sisteminde Ölçülen Sıcaklık Değişimleri

(Temperature Changes Measured in the Cooling System at 4000 rpm)

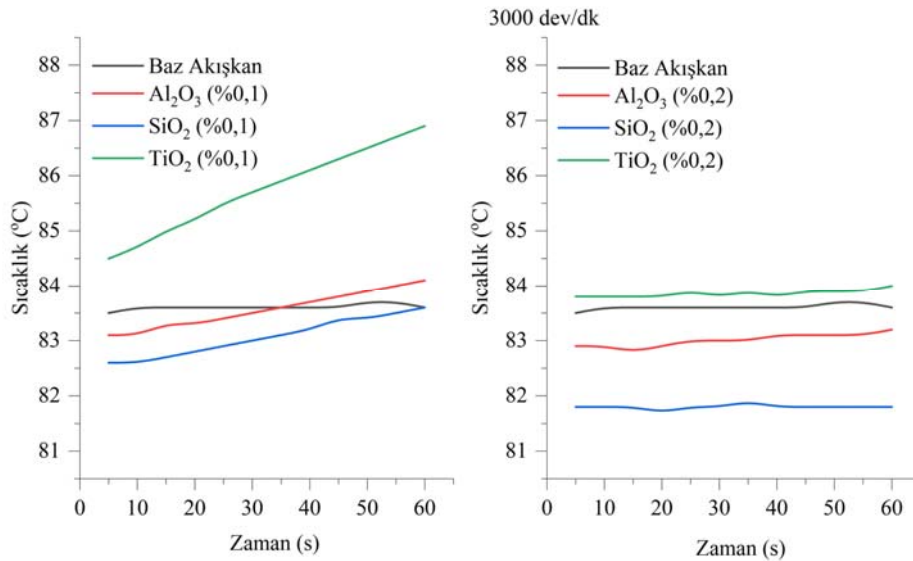
Motor devri 4000 dev/dk'ya yükseltildiğinde elde edilen veriler Şekil 5'teki grafiklerde görülmektedir. Grafiklerden anlaşıldığı gibi baz akışkanın ısı iletimi daha iyi durumdadır. SiO₂ (%0,2) NP'leri eklenmiş soğutucu akışkan hariç baz akışkan diğer NP eklenmiş soğutucu akışkanlara göre yüksektir. En iyi ısı iletimine sahip olan SiO₂ (%0,2) akışkanı için ölçülen sıcaklık değeri ortalama 81,8°C ve baz akışkanın ortalama sıcaklık değeri 84,2°C'dir. Baz akışkana kıyasla aradaki ölçülen fark değeri 2,4°C'dir. Sıcaklık arttıkça SiO₂ NP karışımı daha iyi bir ısı iletim performansı sergilemiştir.

%0,2 hacimsel NP karışım oranları baz akışkana yakın sıcaklık değerlerine sahip iken %0,1 karışım oranları için olumsuz anlamda ortalama 3,3°C gibi daha yüksek fark değerine ulaşmış olduğu görülmektedir. Bu durum baz akışkan içerisindeki partikül miktarının fazla ve partikül boyutlarının küçük olması ısı iletiminde olumlu etkiye yol [2-4, 9, 16, 21-24] göstermektedir. Ancak SiO₂ (%0,2) NP karışımı, diğer NP karışımlarından daha olumlu bir etki göstermiştir. Bu noktada partikül boyutunun küçük olmasının olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Akışkan viskozitesinde olumsuz bir duruma yol açmamıştır. Sıcaklık artışı NA'ların baz akışkana kıyasla ısı iletiminin daha da kötüleşmesine neden olmuştur. Düşük sıcaklık değerlerinde TiO₂ (%0,1) NP karışımı en iyi sonucu veren bir diğer akışkan olurken sıcaklık yükseldikçe bu olumlu etki kaybolmuştur.

3.5. Kullanılan Soğutucu Akışkanların Sıcaklık İletimi

(Temperature Conduction of the Refrigerants Used)

Motor devri arttıkça Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi soğutucu akışkan sıcaklıkları da beraberinde daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

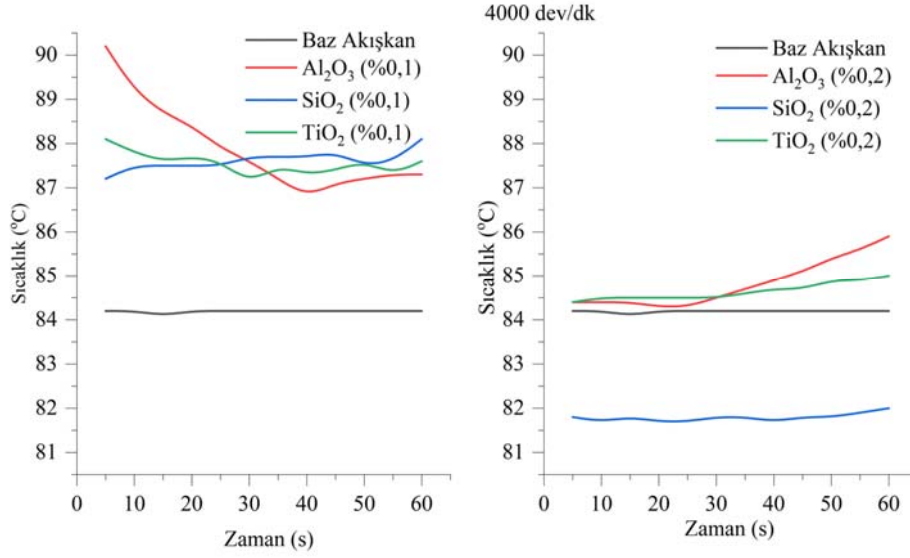


Şekil 4. 3000 dev/dk'da soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması
(Comparison of the exit temperatures of the refrigerants from the engine at 3000 rpm)

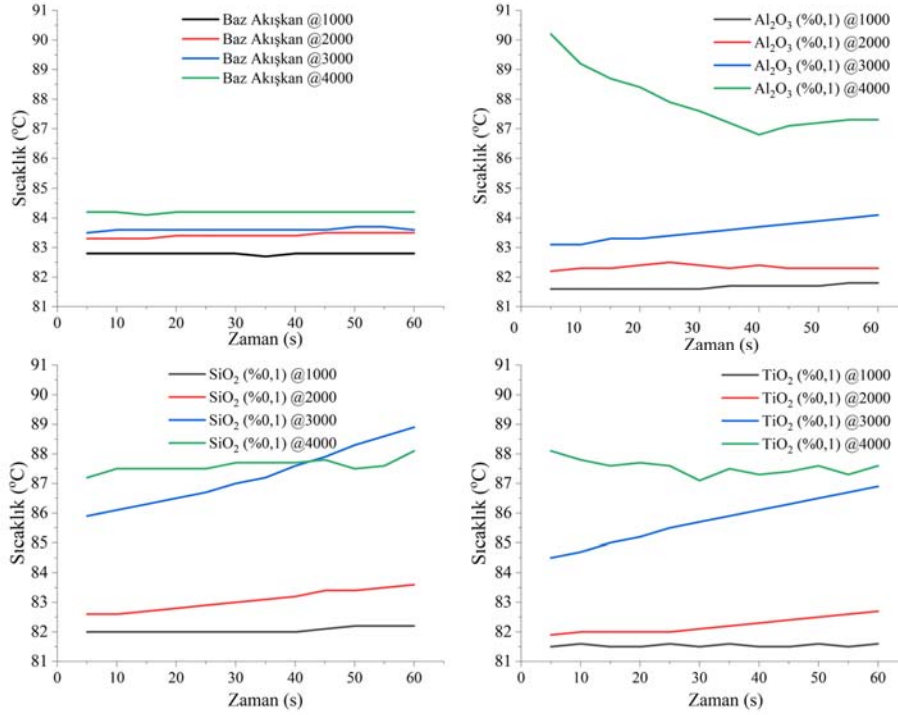
Bu anlamda motorun soğutulması daha da önem arz etmektedir. Düşük sıcaklıklarda NP karışımı ile elde edilen olumlu ısı iletim etkisi, akışkan sıcaklığının yükselmesi ile azalmış olduğu görülmektedir. Şekil 6'da baz akışkan ve %0,1 NP karışımları kıyaslanırken Şekil 7'de baz akışkan ve %0,2 NP karışım oranları kıyaslanmıştır. Her iki şekil incelendiğinde %0,2 karışım oranlarının daha soğuk çalıştığı görülmektedir. Bu kıyaslamalar neticesinde taşıt motorlarının genel anlamda kullanılma devri olarak 2000 ile 3000

dev/dk aralığında olması nedeniyle baz soğutucu akışkanın içerisine özellikle %0,2 oranında NP karışımlarının kullanımı olumlu olarak görülmektedir.

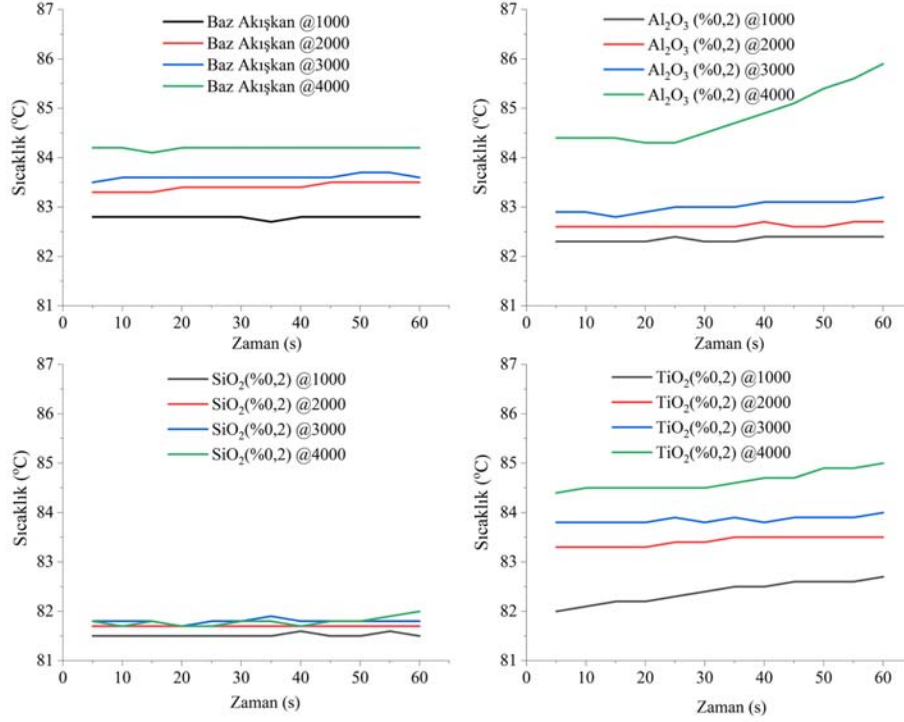
Soğutucu akışkanın ısı transferinin artması baz akışkana eklenen nano parçacıklarının miktarına bağlıdır [16]. Fakat sıcaklığın artması ile soğutucu akışkan buhar fazına yaklaşıncak karışım içerisindeki nano parçacık yoğunluğu artarak soğutucu akışkan karışımın ısı iletiminin



Şekil 5. 4000 dev/dk'da soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (Comparison of the exit temperatures of the refrigerants from the engine at 4000 rpm)



Şekil 6. Farklı devirlerde %0,1 NP karışım soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (Comparison of the exit temperatures of the 0,1% NP mixture refrigerants from the engine at different speeds)



Şekil 7. Farklı devirlerde %0,2 NP karışım soğutucu akışkanların motordan çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması
(Comparison of the exit temperatures of the 0.2% NP mixture refrigerants from the engine at different speeds)

düşmesine [20] neden olabilmektedir. Yapılan çalışmada da baz akışkan içerisindeki NP oranı arttıkça ısı transferine olumlu katkı sağlandığı görülmüştür. %0,2 oranındaki NP'ler içeren akışkanlarla yapılan deneysel çalışmalarda soğutucu akışkan daha düşük sıcaklık değerlerinde kaldığı, daha iyi ısı iletimi sergilediği belirlenmiştir. Bu durum, genelde baz akışkan içerisindeki NP miktarı arttıkça ısı iletiminin daha iyi olduğunu [20] işaret etmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi tüm motor devirleri ve meydana gelen sıcaklık değerlerinde en soğuk çalışma durumu %0,2 SiO₂ NP'leri içeren NA ile elde edilmiştir. En yüksek ısı transferi bu akışkan türünde görülmüştür. Gerçekleşen bu durumda SiO₂ NP'lerinin partikül boyutlarının en küçük olmasının etkili olduğu öngörülmektedir. Tespit edilen durum neticesinde düşük motor devirlerinde genelde NA'ların daha iyi sonuç sergilemiş olmaları, bu akışkanların düşük sabit devirlerde çalıştırılan stasyonel motorların soğutma sistemlerinde kullanılmalarında iyi sonuçlar vereceğini işaret etmektedir. Aynı zamanda baz akışkana kıyasla daha soğuk çalışan motorda, radyatör fanının daha az devreye girecek olması motordan çekilecek gücün azalmasına imkân sağlayacaktır.

Teorik olarak yapılan çalışmalarda, ısı iletkenliği belirlemek için birçok araştırmacı [2, 4, 13, 17, 21, 25] tarafından ampirik formüller kullanılmıştır. Isıl iletkenlik, bir malzemenin ısıyı iletme yeteneğidir ve baz akışkanın ve NP'lerin ısı iletkenlikleri, NP'nin yüzey alanı, NP şekli, sıcaklık ve hacim oranı gibi birçok faktöre bağlıdır [18]. Aynı zamanda Abbas vd. [36] tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi NA'ların ısı iletkenliği; sıcaklıkla artmakta, silindirik şekilli NP'ler küresel şekilli NP'lerden daha iyi ısı iletkenlik göstermekte ve hacim konsantrasyonu artırarak NP'lerin ısı iletkenliği etkilenmektedir. Genelde ısı iletkenlik modeli olarak kullanılan ampirik formül aşağıda verildiği gibidir (Eş. 1).

$$k_{na} = \frac{k_p + (\phi - 1)k_{ba} - \phi(\phi - 1)(k_{ba} - k_p)}{k_p + (\phi - 1)k_{ba} + \phi(k_{ba} - k_p)} k_{ba} \quad (1)$$

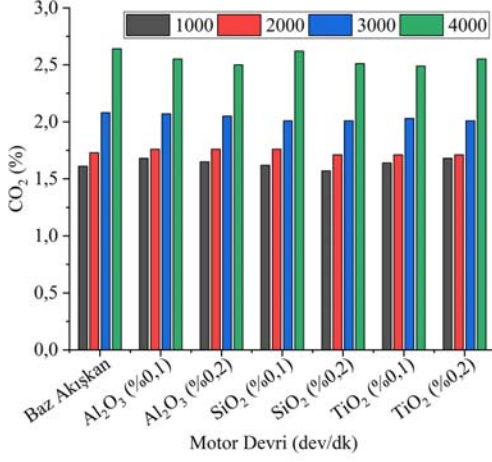
Eş. 1'de görülen ϕ , $\phi = 3 / \psi$ ile verilen ampirik şekil faktörüdür, ψ sembolü NP'nin hacmine eşit hacme sahip bir kürenin yüzey alanının NP'nin yüzey alanına oranı olarak tanımlanan parçacık küreselliğidir. Küresellik değerinin 1 olması, küreselliğin mükemmelliğini ifade etmektedir [2, 4, 25]. Aynı zamanda birçok çalışmada [2, 4, 25], $\psi = 1$ olarak kabul edilen değer mevcut çalışma için de kabul edilmiştir. Baz akışkana kıyasla sonuçlar karşılaştırıldığında NP karışımları ile elde edilen NA'ların ısı iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir.

3.6. Farklı Motor Devirlerinde Ölçülen Emisyon Değişimleri (Emission Changes Measured at Different Engine Speeds)

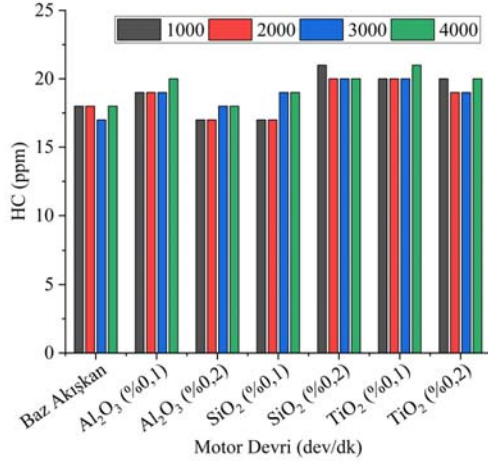
Motor silindirlerinde gerçekleşen yanma olayında, gerek duyulan oksijen ihtiyacı gibi ürünlerin anlık olarak farklılık göstermesi ve motor devrine bağlı olarak gerekli ürünlerin farklılıkları, motorun çalışmasında anlık olarak değişebilen ortam durumu ve silindir içi yanma olaylarındaki farklılıklar önemli rol oynamaktadır. Motor devrinin artması ile soğutma sistemindeki sıcaklığın artması normal bir olaydır. Ancak sistemdeki sıcaklık artışı NA'nın ısı iletim etkisinin düşmesine yol açmakta olduğunu göstermiştir [35]. Sıcaklık değerlerindeki artış CO₂, HC, CO, NO_x ve O₂ emisyon etkileri ise aşağıdaki Şekil 8- Şekil 12'de yer alan grafiklerde görülmektedir.

Silindirlerdeki yanma işleminin tam yanma şeklinde gerçekleştiğini belirten bir emisyon olan türü CO₂ emisyonu, yanma olayının kalitesi hakkında bilgi vermektedir. HC emisyonu ise, yakıtın yanması sonucu ürünlerin tam olarak yanmadan egzozdan dışarı atılması neticesinde eksik yanmayı ifade eden bir emisyon türü olarak ifade edilmektedir [37, 38]. Motor devrinin artmasına paralel olarak tüm akışkan çeşitleri için CO₂ emisyonundaki görülen artma, silindirlerdeki karışımların tam yanmaya yakınlığını göstermiştir. Yanma kalitesinin artmasına bağlı olarak emisyon değerinde artış olumlu olarak görülmektedir. Bu duruma artan motor devrinin etkisi ile silindir içerisinde gerçekleşen türbülans olayının da etkisinin olduğu göz ardı edilmemelidir. Bunun

yanı sıra baz akışkan ve NA'lar için farklı devirlerdeki emisyon değerlerindeki değişimde belirgin farklılıklar olmamıştır.



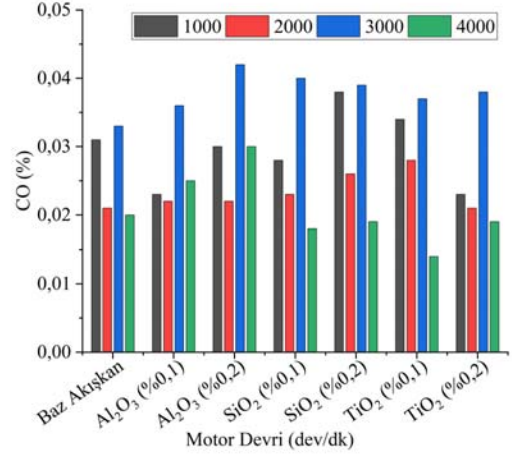
Şekil 8. Farklı devirlerdeki CO₂ değişimleri (Variations of CO₂ at different speeds)



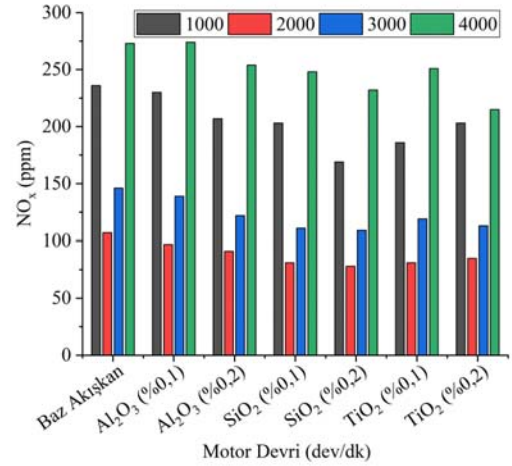
Şekil 9. Farklı devirlerdeki HC değişimleri (Variations of HC at different speeds)

Şekil 8'de CO₂ emisyonunda ve Şekil 9'da HC emisyonunda görüldüğü gibi farklı devirlerde (1000 – 4000 dev/dk) ve farklı soğutucu akışkan çeşitleri ile yapılan karşılaştırmada belirgin bir fark olmadığını ifade etmek mümkündür. CO, zararlı olan ve eksik yanmayı gösteren bir emisyon çeşidi olarak değerlendirilmektedir [37 - 39]. Motor devri arttıkça motor sıcaklığı artmakta ve beraberinde soğutucu sıcaklığının artması, çalışma koşullarının daha da iyileşmesi sonucunda CO₂ emisyonundaki iyileşmeyle olumlu olarak Şekil 10'da görülen CO emisyonunda da tüm akışkan türleri için yaklaşık değerler elde edildiği söylenebilir. 4000 dev/dk çalışma devri için %0,2 NP karışımlarında 81 ile 85°C sıcaklık aralığında Al₂O₃ NP karışımı içeren NA'ı dışındaki tüm akışkan türleri için yaklaşık olarak en düşük değerler elde edilmiştir [35]. Bu orandaki NA çeşitleri için oldukça yakın değerler tespit edilmiştir ve bu değerler arasında da önemli farklılıklar olmadığı görülmektedir. Hatta baz akışkana kıyasla az miktarda azalmaların olduğu söylenebilir. Şekil 11'de görüldüğü üzere tüm NA çeşitlerinde, baz akışkana kıyasla daha düşük NO_x değerlerinin elde edilmesine olanak sağlanmıştır. Bunun yanı sıra aynı akışkan türü için elde edilen verilerde öncelikle düşük devirlerde NO_x emisyon değerinin yüksek olduğu, sonrasında ise motor devri arttıkça ilk etapta NO_x emisyonunda önemli bir ölçüde düşüş olduğu ve

devamında motor devrindeki artışa bağlı olarak bu emisyon değerinde yükselme olduğu görülmüştür. 1000 dev/dk için alınan verilerde başlangıçta görülen yüksek emisyon değerlerinin 2000 dev/dk'da düşüş şeklinde görülmesinde hem motorun verimli çalışma sıcaklığına ulaşmasının etkisinin olduğu hem de motor EGR sisteminin belirli bir süre sonra özellikle motor çalışma sıcaklığının belirli bir değere ulaşmasından sonra devreye girerek bu zararlı emisyon ürününü düşürmesinde etkili olduğu görülmüştür. İnsan sağlığı açısından zararlı bir emisyon türü olan NO_x, emisyonu, sıcaklık artışı ile ilişkili olarak artış gösteren [39] ve ancak yüksek çıkması istenmeyen bir emisyon ürünüdür. Şekil 11'de görüldüğü üzere aynı motor devirleri için elde edilen verilerde NO_x emisyon değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu ve bir azalma sağladığı tespit edilmiştir. NO_x emisyonunda baz akışkana kıyasla tüm NA türlerinde yaklaşık olarak 1000 dev/dk için %2-28, 2000 dev/dk için %9-27, 3000 dev/dk için %4-25 ve 4000 dev/dk için %0-21 aralıklarında düşüşlerin olduğu belirlenmiştir. Genelde en düşük NO_x emisyon değerleri, %0,2 SiO₂ NP karışımı kullanılan NA ile elde edilmiştir. Bu değerler motor devirleri için sırası ile yaklaşık %28, %27, %25 ve %15 şeklinde gerçekleşmiştir [35].



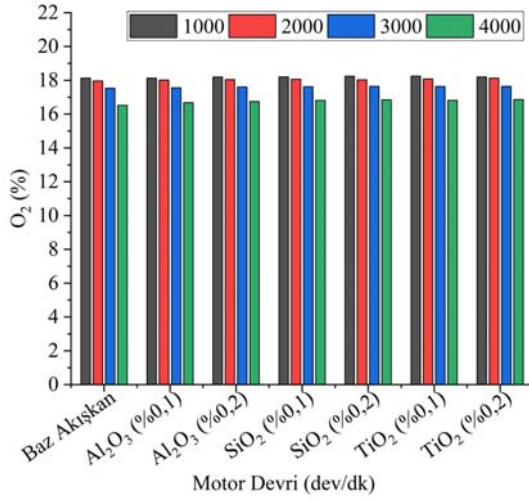
Şekil 10. Farklı devirlerdeki CO değişimleri (Variations of CO at different speeds)



Şekil 11. Farklı devirlerdeki NO_x değişimleri (Variations of NO_x at different speeds)

Yanmanın gerçekleştiği şartlar hakkında önemli bilgiler veren bir parametre olarak egzoz emisyonlarındaki O₂ varlığının miktarıdır [37]. Şekil 12'de görüldüğü üzere düşük devirlerde O₂ miktarı tüm

soğutucu akışkan türleri için nispeten yüksek ölçülmüştür. Ancak motor devri arttıkça emisyon değerlerinde gittikçe düşüş gösteren bir O₂ emisyon durumu görülmektedir. Bu duruma yüksek devirlerde silindirlere gerçekleşen yanma için ayrılan sürenin az olması nedeniyle yeterli miktardaki oksijenin yanma reaksiyonuna dahil olamaması şeklinde açıklanabilir. Tüm soğutucu akışkan türleri için yüksek devirde aynı görüntü grafiğe yansımıştır. Orta devirlerde oksijendeki azalmada ise yanma olayı için gerekli olan oksijenin reaksiyona girmesinden kaynaklı olarak düşük devirlere oranla önemli düşüşler görülmektedir. Aynı akışkan türü için ifade edilen durum söz konusu iken, aynı motor devirleri için tüm akışkan çeşitlerinde benzer ve oldukça yakın değerler elde edilmiştir.



Şekil 12. Farklı devirlerdeki O₂ değişimleri
(Variations of O₂ at different speeds)

4. Sonuçlar (Conclusions)

Farklı motor devirlerinde (1000, 2000, 3000 ve 4000 dev/dk) çalıştırılan bir motorun, soğutma sisteminde baz akışkan içerisine NP karışımları sayesinde aşağıda ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1000 dev/dk'da çalıştırılan motorda; baz akışkan içerisine karıştırılan NP'lerin ısı iletkenliği baz akışkana kıyasla arttırdığı belirlenmiştir. Baz akışkana kıyasla ölçülen en büyük sıcaklık fark değeri SiO₂ (%0,2) ve TiO₂ (%0,1) NP'leri karıştırılan NA'larında yaklaşık 1,3°C olarak gerçekleşmiştir.
- 2000 dev/dk'da çalıştırılan motorda; baz akışkana kıyasla NP karışımı soğutucular için ısı iletiminin azaldığı, ancak yine de NP karışımı soğutucu akışkanların baz akışkana kıyasla daha iyi ısı iletimi sağladığı belirlenmiştir. Baz akışkana kıyasla ölçülen en büyük sıcaklık fark değeri SiO₂ (%0,2) NP karışımında yaklaşık 1,2°C olarak tespit edilmiştir.
- 3000 ve 4000 dev/dk'da çalıştırılan motorda; NP karışımlarının baz akışkanın ısı iletimini iyileştirdiği belirtilen çalışma sonuçların aksine SiO₂ (%0,2) NP içeren akışkan dışındaki diğer soğutucu akışkanlarda motor devrinin ve beraberinde soğutucu akışkan sıcaklığının yükselmesi, baz akışkana kıyasla NA'ların ısı iletiminin kötüleşmesine neden olmuştur. En iyi ısı iletimine sahip olduğu tespit edilen SiO₂ (%0,2) NP içeren akışkan için 3000 dev/dk'da ölçülen sıcaklık fark değeri 1,9°C, 4000 dev/dk için 2,4°C'dir. Sıcaklık artışı SiO₂ (%0,2) NP içeren akışkan dışındaki tüm NA karışımlarının ısı iletimini olumsuz olarak etkilemiştir. Sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik azalmıştır.
- NA'ların içeriğindeki partikül boyutlarının ve partikül sayısının ısı iletiminde olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Genelde

düşük sabit devirde çalışan stasyonier motorların soğutma sistemlerinde NA kullanımının iyi sonuçlar vereceği söylenebilir. Aynı zamanda motorun soğuk çalışması, radyatör fanının daha az devreye girmesi nedeniyle radyatör fanının motordan çekeceği gücün azalmasına olumlu katkı sağlayacaktır.

- CO₂, HC, CO ve O₂ emisyonları için baz akışkana kıyasla benzer ve oldukça yakın emisyon değerleri elde edilmiştir. Belirgin farklılıklar görülmemiştir. NO_x emisyon değerlerinde azalma sağlandığı tespit edilmiştir. NO_x emisyonunda baz akışkana kıyasla tüm NA türlerinde yaklaşık olarak 1000 dev/dk için %28, 2000 dev/dk için %27, 3000 dev/dk için %25 ve 4000 dev/dk için %21 oranlarında düşüşlerin olduğu belirlenmiştir. 1000-4000 dev/dk aralığında %0,2 SiO₂ NP içeren NA ile ölçülen NO_x emisyon değerleri sırası ile yaklaşık %28, %27, %25 ve %15 şeklinde gerçekleşmiştir.
- Hem sıcaklık hem de emisyon ölçümlerinde en iyi sonuçlar %0,2 SiO₂ NP karışımı içeren NA'da elde edilmiştir.

Kaynaklar (References)

1. Jadar R., Shashishekar K.S., Manohara S.R., F-MWCNT Nanomaterial Integrated Automobile Radiator. *Materials Today, Proceedings*, 4 (10), 11028–11033, 2017.
2. Salami Tījani A., Suhail bin Sudirman A., Thermos-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃ / CuO based nanofluid as a coolant for car radiator, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48–57, 2018.
3. Hussein .M., Bakar R.A., Kadrigama K., Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system, *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50–61, 2014.
4. Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Hoseini S.M., Seifi Jamnani M., Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol-based nanofluids as a new coolant for car radiators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (9), 1283–1290, 2011.
5. Syam Sundar L., Kirubeil A., Punnaiah V., Singh M.K., Sousa AC.M., Effectiveness analysis of solar flat plate collector with Al₂O₃ water nanofluids and with longitudinal strip inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 422–435, 2018.
6. Leong K. Y., Saidur R., Mahlia Tmi., Yau Yh., Performance investigation of nanofluids as working fluid in a thermosyphon air preheater, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39 (4), 523–529, 2012.
7. Krishnakumar T. S., Viswanath S. P., Varghese S. M., Jose Prakash M., Experimental studies on thermal and rheological properties of Al₂O₃–ethylene glycol nanofluid, *International Journal Refrigeration*, 89, 122–130, 2018.
8. Muhammad Ali H., Ali H., Liaquat H., Talha Bin Maqsood H., Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnOe water nanofluids, *Energy*, 84, 317–324, 2015.
9. Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Seifi Jamnani M., Hoseini S.M., Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃ / water nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 31, 1833–1838, 2011.
10. Hussein A. M., Dawood H. K., Bakara R. A., Kadrigamaa K., Numerical study on turbulent forced convective heat transfer using nanofluids TiO₂ in an automotive cooling system, *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 72–78, 2017.
11. Jadar R., Shashishekar K. S., Manohara S. R., Nanotechnology Integrated Automobile Radiator, *Materials Today, Proceedings*, 4 (11), 12080–12084, 2017.
12. Naraki M., Peyghambarzadeh S.M., Hashemabadi S.H., Vermahmoudi Y., Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO / water nanofluids in a car radiator, *International Journal of Thermal Sciences*, 66, 82–90, 2013.
13. Elias M.M., Mahbul I.M., Saidur R., Sohail M.R., Shahrul I.M., Khaleduzzaman S.S., Sadeghipour S., Experimental investigation on the thermo-physical properties of Al₂O₃ nanoparticles suspended in car radiator coolant, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 54, 48–53, 2014.

14. Goudarzi K., Jamali H., Heat transfer enhancement of Al₂O₃-EG nanofluid in a car radiator with wire coil inserts, *Applied Thermal Engineering*, 118, 510-517, 2017.
15. Hatami M., Jafaryar M., Zhou J., Jing D., Investigation of engines radiator heat recovery using different shapes of nanoparticles in H₂O / (CH₂OH)₂ based nanofluids, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 10891-10900, 2017.
16. Sandhya D., Chandra M., Reddy S., Vasudeva Rao V., Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water-based TiO₂ nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78, 121-126, 2016.
17. Subhedar D.G., Ramani B.M., Gupta A., Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃ / Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant, *Case Studies in Thermal Engineering*, 11, 26-34, 2018.
18. Ali Ahmed S., Ozkaymak M., Sözen A., Menlik T., Fahed A., Improving car radiator performance by using TiO₂-water nanofluid, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21, 996-1005, 2018.
19. Yüksel T., Kapıcıoğlu A., Experimental Investigation of the Effect of Nanofluid Supported Vehicle Engine Cooling System on Engine Emission Values. II. International Conference on Innovative Engineering Applications (CIEA' 2021), Muş, Turkey, 405-413, 20-22 May 2021.
20. Yüksel T., Kapıcıoğlu A., Experimental Investigation of The Effects on Engine Oil Temperature of Different Nanofluids Used in Vehicle Engine Cooling System, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5 (1), 22-29, 2021.
21. Tadepalli R., Gadekula R.K., Reddy K.V., Goud S.R., Nayak S.K., Saini V., Dondapati R.S., Characterization of Thermophysical properties of Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, SiC, and CuO Nano Particles at Cryogenic Temperatures. *Materials Today, Proceedings*, 5 (14), 28454–28461, 2018.
22. M'hamed B., Che Sidik N.A., Akhbar M.F.A., Mamat R., Najafi G., Experimental study on the thermal performance of MWCNT nanocoolant in Perodua Kelisa 1000cc radiator system, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 156–161, 2016.
23. Muruganandam M., Mukesh Kumar P.C., Experimental analysis on internal combustion engine using MWCNT/water nanofluid as a coolant. *Materials Today, Proceedings*, 21, 248–252, 2020.
24. Li X., Zou C., Qi A., Experimental study on the thermo-physical properties of car engine coolant (water/ethylene glycol mixture type) based SiC nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 77, 159–164, 2016.
25. Elsaid A.M., Experimental study on the heat transfer performance and friction factor characteristics of Co₃O₄ and Al₂O₃ based H₂O/(CH₂OH)₂ nanofluids in a vehicle engine radiator, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 108, 104263, 2019.
26. Nieh H.M., Teng T.P., Yu C.C., Enhanced heat dissipation of a radiator using oxide nano-coolant, *International Journal of Thermal Sciences*, 77, 252–261, 2014.
27. Mukherjee S., Chakrabarty S., Mishra P.C., Chaudhuri P., Transient heat transfer characteristics and process intensification with Al₂O₃-water and TiO₂-water nanofluids, An experimental investigation. *Chemical Engineering & Processing, Process Intensification*, 150, 107887, 2020.
28. Said Z., Assad M.E.H., Hachicha A.A., Bellos E., Abdelkareem M.A., Alazaizeh D.Z., Yousef B.A.A., Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 183–194, 2019.
29. Elsebay M., Elbadawy I., Shedid M.H., Fatouh M., Numerical resizing study of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator, *Applied Mathematical Modelling*, 40, 6437–6450, 2016.
30. Che Sidik N. A., Witri Mohd Yazid M. N. A., Mamat R., Recent advancement of nanofluids in engine cooling system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 137–144, 2017.
31. Selvam C., Solaimalai Raja R., Mohan Lal D., Sivasankaran Harish, Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene-based suspensions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 580-588, 2017.
32. Zawawi N.N.M., Azmi W.H., Redhwan A.A.M., Sharif M.Z., Sharma K.V., Thermo-physical properties of Al₂O₃-SiO₂/PAG composite nanofluid for refrigeration system, *International Journal of Refrigeration*, 80, 1–10, 2017.
33. Al-damook A., Alfelleg M.A., Khalil W.H., Three-dimensional computational comparison of mini pinned heat sinks using different nanofluids, Part one—the hydraulic-thermal characteristics, *Heat Transfer*, 49 (1), 441–460, 2020.
34. Oztop H.F., Abu-Nada E., Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29 (5), 1326–1336, 2008.
35. İzgi A., Soğutma sisteminde nanoakışkan kullanımının motor performansına ve emisyonlarına olan etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2021.
36. Abbas F., Ali H.M., Shah T.R., Babar H., Janjua M.M., Sajjad U., Amer M., Nanofluid: Potential evaluation in automotive radiator, *Journal of Molecular Liquids*, 297, 112014, 2020.
37. Yüksel T., Temizer I., Can I., Koca F., Investigation of the Using Heated Bioethanol as a Dual Fuel in a Gasoline Engine, *Firat University Journal of Engineering Science*, 31 (1), 67-77, 2019.
38. Firat M., Altun S., Okcu M., Varol Y., Investigation of the effect of gasoline premixed ratio and engine load on the combustion and exhaust emission characteristics of an RCCI Engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 37 (1), 541-554, 2022.
39. Surer E., Solmaz H., Yilmaz E., Calam A., Ipci D., Investigation of the effect of carbon nanotube addition to diesel-biodiesel blend on engine performance and exhaust emissions, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (2), 1055-1064, 2023.